

2020 年度国家自然科学奖 项目公示

(一) 项目名称

中国东部上地幔和下地壳中水的分布、循环和效应研究

(二) 提名者及提名意见

提名者：

张宏福：西北大学、教授、地质学、中科院院士

杨经绥：南京大学、教授、地质学、中科院院士

李献华：中科院地质与地球物理研究所、研究员、地球化学、中科院院士

提名意见：

[张宏福院士提名意见]地球内部如何运行是国际地球科学的前沿问题。名义上无水矿物中的水由于其显著的物理、化学和动力学效应，是探索地球内部运行机制的一个重要切入点。该项目选择中国东部的深源壳幔样品，围绕典型矿物含水性开展了系统化的野外和实验室工作。经十余年多学科综合研究，发现了中生代华北克拉通岩石圈地幔的高水含量和新生代中国东部上地幔（岩石圈地幔和软流圈地幔）水含量分布的不均一性，为认识华北克拉通破坏与岩石圈地幔水化密切相关以及东亚大地幔楔的动力学提供了重要依据。研究还首次发现了大陆下地壳含水且其含量明显高于下覆岩石圈地幔，这极大改变了干态下地壳的传统认识，下地壳与岩石圈地幔水含量的垂向差异造成壳幔界面附近流变强度

的变化，影响深部岩石圈的动力学过程。对深俯冲榴辉岩的研究发现了石榴石具有极高水含量及其高度不均一的分布特征，意味着大陆板块深俯冲过程中石榴石和绿辉石都能将大量水携至地球内部，同时板块俯冲和折返过程中流体活动能力非常有限。该项目关于名义上无水矿物含水性的研究，是非常具有特色性和原创性的工作，是国际固体地球科学领域的前沿方向。这些成果对于深刻认识我国东部的深部过程和大陆动力学具有突出的科学意义，这是基于我国地质的实际背景、解决了我国东部大陆壳幔作用过程中若干重大科学问题并产生了重要国际影响的重要工作。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

[杨经绥院士提名意见]地球内部水是近二十年来地球科学研究的前沿领域之一。夏群科教授等人根据国际上相关研究进展和中国独特的地域特征，以名义上无水矿物为对象，围绕中国东部广泛分布的中、新生代深源样品，系统开展了以“中国东部上地幔和下地壳中水的分布、循环和效应”为主题的综合研究。这些工作取得了一系列具重大国际影响的创新成果：1)发现了中生代华北克拉通岩石圈地幔的高水含量和新生代中国东部上地幔（岩石圈地幔和软流圈地幔）水含量分布的不均一性。高水含量确定了克拉通破坏与岩石圈地幔水化密切相关，而水含量的不均一分布特征为认识东亚大地幔楔的动力学提供了重要参考；2)发现了大陆下地壳含水且水含量明显高于下伏岩石圈地幔。下地壳含水性的发现

改变了下地壳是“干态”的传统认识，而下地壳与岩石圈地幔水含量垂向差异造成的壳幔界面附近流变强度的变化为认识深部岩石圈动力学提供了新的制约；3)发现了超高压榴辉岩中石榴石的高水含量及其水含量在颗粒尺度上不均一分布的特征。高水含量确定了石榴石是大陆板块深俯冲过程中水的重要载体，而颗粒尺度水含量不均一性的保存为大陆板块快速俯冲-折返模式提供了重要证据。这些研究成果，系统呈现了中国东部壳幔含水性的总体分布特征，充分代表了国际地球内部水研究的前沿。这些工作极具特色性和原创性，体现了高水平的创新学术思想，是我国地质界近年来具显著影响和解决问题高度突出的创新型成果之一。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

[李献华院士提名意见] 名义上无水矿物中的结构水，是近二十年来固体地球科学领域的国际学术前沿之一。中国东部丰富多样的地质背景和广泛分布的源于上地幔和下地壳的深源样品，为研究“地球内部水”提供了绝佳的天然实验室。夏群科教授及其研究团队选择中国东部的中、新生代深部壳幔样品为突破口，围绕代表性名义上无水矿物的含水性以及大陆壳幔体系中水的分布、循环和效应，展开了深入细致的长期研究。这些工作系统刻画了中国东部上地幔（包括岩石圈地幔和软流圈地幔）和下地壳含水性的总体分布特征以及大陆板块深俯冲过程中壳幔之间水的循环，从一个全新视角为了解壳幔物质的组成和交换提供了基础数据，为深刻

理解克拉通破坏和中国东部大陆动力学提供了关键依据和参考，显著提升了我国“地球内部水”研究的国际地位和学术影响力。该项目关于中国东部上地幔和下地壳含水性的研究，是迄今国际上从天然样品角度研究大陆壳幔含水性的最系统性成果，研究成果对于中国东部地球内部水的认识起到了重要的推动作用。同时，这些研究还具有显著的理论创新和成果创新，引领了国内名义上无水矿物含水性和“地球内部水”研究的新方向，并在国际上产生了重要影响。

对照国家自然科学奖授奖条件，提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

（三）项目简介

水是地球上生命的起源和人类赖以生存的基础。地球内部的水更是岩石的“助熔剂”，它促进了岩石流变和岩浆活动，在地球内部物质运移和层圈相互作用中扮演着不可或缺的角色。与地表水不同，地球内部水主要以点缺陷形式（如羟基等）赋存在辉石、橄榄石、石榴石等“名义上无水矿物”（即理想化学式中不含氢的矿物）的晶体结构中，构成了所谓的结构水，其储量可能远超地表水的总量。藉由火山喷发和板块俯冲，地球内部水与地表水不断交换和循环，直接影响地球内部的物理化学性质和动力学过程以及地表附近的环境和气候等。因此，“地球内部水”的研究，不仅是理解全球尺度水循环的重要前提，也是回答“地球内部如何运行”这个基本科学问题的关键部分。

上地幔和下地壳是壳幔物质交换和循环非常剧烈的位置，也是决定大陆稳定性和板块构造作用的重要场所。这两个圈层是“地球内部水”研究的前沿，尤其以下三个问题是关键所在：（1）这些圈层中的水如何分布？（2）这些水有什么地质效应？（3）水在这些圈层中怎么交换和循环？回答这些问题需要对天然样品进行系统观察。中国东部出产类型丰富的上地幔和下地壳样品，使得该区成为研究“地球内部水”的良好实验室。本项目自 2002 年起，从矿物学、岩石学、地球化学等多学科的视角，对中国东部东北、华北和华南等三十多个深源样品产地进行了详细考察和采样，对典型名义上无水矿物的含水性开展了细致分析，取得了以下成果：（1）发现了中生代华北克拉通岩石圈地幔的高水含量和新生代中国东部上地幔（岩石圈地幔和软流圈地幔）水含量分布的不均一性。高水含量确定了克拉通破坏与岩石圈地幔水化密切相关，而水含量的不均一分布特征为认识东亚大地幔楔的动力学提供了重要参考；（2）发现了大陆下地壳含水且水含量明显高于下伏岩石圈地幔。下地壳含水性的发现改变了下地壳是“干态”的传统认识，而下地壳与岩石圈地幔水含量垂向差异造成的壳幔界面附近流变强度的变化为认识深部岩石圈动力学提供了新的制约；（3）发现了超高压榴辉岩中石榴石的高水含量及其水含量在颗粒尺度上不均一分布的特征。高水含量确定了石榴石是大陆板块深俯冲过程中水的重要载体，而颗粒尺度水含量不均一性的保存为大陆

板块快速俯冲-折返模式提供了重要证据。

这些工作系统呈现了中国东部上地幔和下地壳含水性的总体特征，推动了我国“地球内部水”研究的发展，得到了国际学术界的广泛认可。该项目对中国东部的观察，是迄今为止国际上从天然样品角度认识大陆壳幔含水性的最系统性研究。8 篇代表性论文发表在《Earth and Planetary Science Letters》、《Geochimica et Cosmochimica Acta》、《Journal of Geophysical Research - Solid Earth》等地学权威期刊，被《Geology》、《Earth and Planetary Science Letters》等地学权威期刊引用 553 次，其中严格总他引 415 次。因在“地球内部水”研究领域的贡献，项目第一和第二完成人分别于 2012 和 2017 年获得国家基金委杰出青年科学基金资助。

（四）代表性论文专著目录

- 1) Xia QK, Liu J, Liu SC, Kovács I, Feng M, Dang L. High water content in Mesozoic primitive basalts of the North China Craton and implications for the destruction of cratonic mantle lithosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 2013, 361, 85-97.
- 2) Xia QK, Hao YT, Li P, Deloule Etienne, Coltorti Massimo, Dallai Luigi, Yang XZ, Feng M. Low water content of the Cenozoic lithospheric mantle beneath the eastern part of the North China Craton. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, 2010, 115, B07207, doi:10.1029/2009JB006694.
- 3) Chen H, Xia QK, Ingrin J, Jia ZB, Feng M. Changing recycled oceanic components in the mantle source of the Shuangliao Cenozoic basalts, NE China. new constraints from water content. *Tectonophysics*, 2015, 650, 113-123.
- 4) Liu Jia, Xia Qunke, Deloule Etienne, Ingrin Jannick, Chen Huan, Feng Min. Water

content and oxygen isotopic composition of alkali basalts from the Taihang Mountains, China: recycled oceanic components in the mantle source. *Journal of Petrology*, 2015, 120, 8281-8303.

- 5) Yang XZ, Xia QK, Deloule Etienne, Dallai Luigi, Fan QC, Feng M. Water in minerals of continental lithospheric mantle and overlying lower crust: a comparative study of peridotite and granulite xenoliths from the North China Craton. *Chemical Geology*, 2008, 256, 33-45.
- 6) Xia QK, Yang XZ, Deloule E, Sheng YM, Hao YT. Water in the lower crustal granulite xenoliths from Nushan, SE China. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, 2006, 111, B11202, doi:10.1029/2006JB 004296.
- 7) Xia QK, Sheng YM, Yang XZ, Yu HM. Heterogeneity of water in garnets from UHP eclogites, eastern Dabieshan, China. *Chemical Geology*, 2005, 224, 237-246.
- 8) Sheng YM, Xia QK, Dallai L, Yang XZ, Hao YT. H₂O contents and D/H ratios of nominally anhydrous minerals from ultrahigh-pressure eclogites of the Dabie orogen, eastern China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, 71, 2079-2103.

（六）主要完成人

夏群科，杨晓志，郝艳涛，陈欢，刘佳

（七）完成单位

中国科学技术大学